

橋梁への適用に向けた慣性接続要素(Inerter)の開発 —回転動増幅機構導入の提案—

エム・エムブリッジ(株) 正会員 ○平井 潤, 正会員 野口 敏広
東北大学 五十子 幸樹
(株)免制震デバイス 木田 英範

1. はじめに

名港西大橋の上り線では、2018年の耐震補強工事において、定格抵抗 2,000(kN)、ストローク ± 650 (mm)という両仕様ともに国内最大級となる粘性ダンパーが適用された¹⁾。しかし、今後は設計地震動の長周期化や、対象橋梁の長大化などに起因して、橋梁の制震デバイスにはより大きなストロークを必要とされるケースが想定される。そこで本研究では、前述の粘性ダンパー以上のストローク実現の余地のある、近年建築分野で開発・適用が盛んな慣性接続要素(以下、Inerter とする)と呼ばれるデバイスに着目した。その際、Inerter を橋梁に適用する上で課題となるボールねじの製作長さ限界といった問題を解消するために、新たに「回転動増幅機構」を考案し、それを Inerter 機構に導入することを提案した。

本報では、まず回転動増幅機構の要素試験を行い、Inerter への適用性を検討した結果を示す。

2. Inerter とは

Inerter は、Tuned Mass Damper (TMD)と同じく同調型質量ダンパーに分類され、自身の振動系を主系に連成させた振動系の伝達特性の周波数整形を行うことで、主系の応答を制御する。その構成は図-1のように、ばね(コイルばね)、付加マス(フライホイール)、減衰機構(ここでは摩擦ダンパー)から成り、主系と付加マスはボールねじ機構を介して接続される。したがって、対象の直線運動が回転運動に変換される際の増速効果により、質量体の実質量に対してデバイス等価質量を大幅に増大させることが可能となる。

従来の Inerter の作動順序としては、まず制震対象に応答変位が生じると、コイルばねに強制変位がはたらき、復元力が作用する。このとき、制震対象の固有周期に同調するように、コイルばねでデバイス等価剛性が適切に調整されていれば、デバイス振動系の動的応答倍率にし

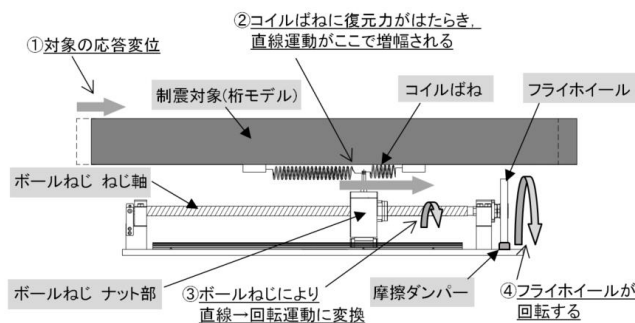


図-1 従来の Inerter 各部名称と作動順序

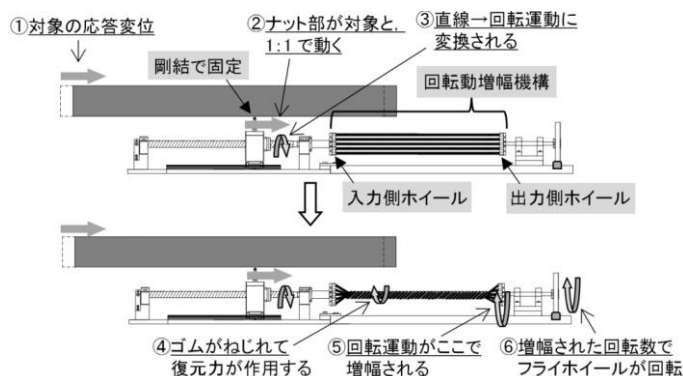


図-2 回転動増幅機構を導入した Inerter の作動順序

たがって、ボールねじのナット部において直線運動が増幅されて生じる。ナット部に直線運動が生じると、ボールねじのねじ軸が回転し、ねじ軸端部に設置されたフライホイールが回転運動を行う。Inerter は地上に剛に設置されており、フライホイール回転時に作用する慣性力(の反力)が、主系に対して減衰力として作用する。

3. 回転動増幅機構の概要

従来の Inerter 機構では、コイルばねを用いて直線運動を増幅させることを考えていたが、ボールねじの製作長さ限界に起因して、粘性ダンパーを超える大ストロークのデバイスを実現するのは困難となる。そのため本研究では、ねじりばねの役割をもつ回転動増幅機構を Inerter に導入することで、回転運動を増幅させることを考える。

図-2に、その際の Inerter の作動順序を示す。ここでは、

キーワード 橋梁, 耐震補強, 制震デバイス, 同調型質量ダンパー, 慣性接続要素, Inerter

連絡先 〒733-0036 広島県広島市西区観音新町一丁目 20 番 24 号 エム・エムブリッジ(株) TEL 082-292-1111

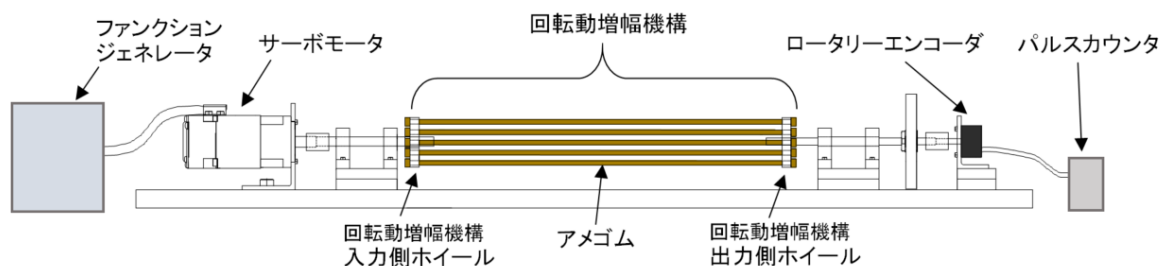


図-3 回転動増幅機構の要素試験時イメージ

ゴム動力のプロペラ飛行機模型から着想を得て、何本かのゴムを入力側・出力側ホイールにプリテンションをかけて取り付けることで、回転動増幅機構を構成することとした。これにより、従来の Inerter 機構と同等の制震効果を得ようとした際に、必要なボールねじ長さを短くできることが期待される。

図-3 に、アメゴムを用いて構成した際の、回転動増幅機構の要素試験時イメージを示す。図-4 は、入力側ホイールに強制回転変位を与えたときのトルクを測定することで得られた履歴曲線であり、これは長さ 400(mm)、径 5(mm)のアメゴムを 8 本用いたときの結果である。なお、回転動増幅機構の復元力係数は、図-4 に示す近似曲線の勾配に相当する。これにより、入力側ホイールが回転することでアメゴムがねじれて復元力が作用し、ホイールが逆回転を始めてアメゴムがほどける前後までは、概ね線形の復元力特性をもつことが認められる。図-5 は、このときの回転動増幅機構と Inerter とのデバイス振動系における周波数特性を示したボード線図である。これにより、デバイス振動系は入力に対して共振点（この場合、0.47(Hz)）をもつことが分かる。なお、本機構を Inerter に導入する際には、制震対象の固有周期に応じて、使用するゴムの長さ・径・本数・ゴム単体でのばね定数などといった諸元を調整することで、共振周波数をコントロールすることが可能である。よって、ボールねじ機構により直線運動から変換された回転運動の角振動数に同調させて、フライホイールの回転運動を増幅させることが可能となる。ゆえに、直線運動を増幅させる従来の機構に比べて、同等の制震効果を得る際に必要なボールねじ長さを短くすることができる。

4. おわりに

Inerter を橋梁に適用しようとした際に課題となるボールねじの製作長さ限界といった問題を解消するために、回転動増幅機構を考案した。また、本機構を Inerter

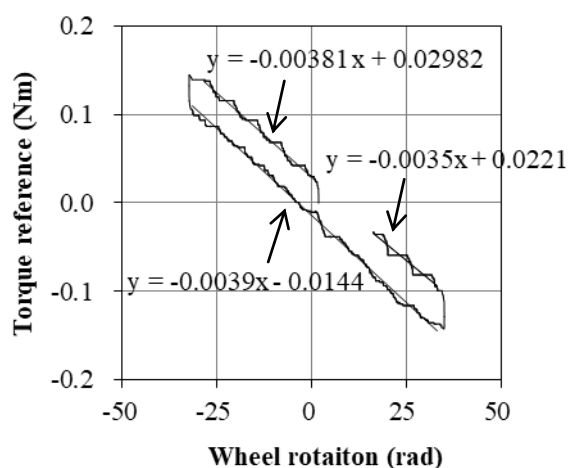


図-4 回転動増幅機構の履歴曲線
(ゴム長さ 400(mm)、ゴム径 5(mm)、8 本)

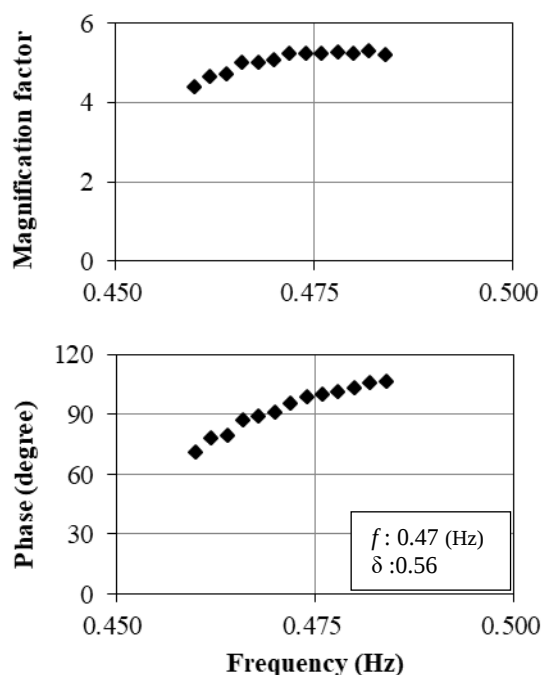


図-5 ボード線図
(ゴム長さ 400(mm)、ゴム径 5(mm)、8 本)

に導入することで、現存のボールねじを用いて構成される Inerter を、橋梁に適用できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 榊建設図書：『橋梁と基礎』第 52 巻第 11 号，pp.2-19